



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 100 57 375 C 1

51 Int. Cl.⁷:
H 02 H 6/00
H 02 H 5/04

21 Aktenzeichen: 100 57 375.4-42
22 Anmeldetag: 18. 11. 2000
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 4. 4. 2002

DE 100 57 375 C 1

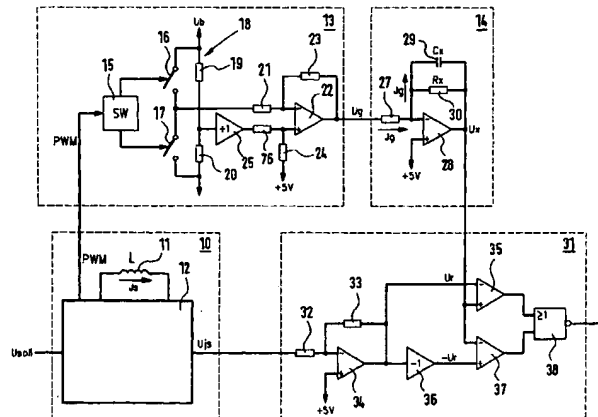
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
FESTO AG & Co, 73734 Esslingen, DE
74 Vertreter:
Patentanwälte Magenbauer, Reimold, Vetter &
Abel, 73730 Esslingen

72 Erfinder:
Suchy, Walter, 70176 Stuttgart, DE; Szenn, Otto, Dr.,
71229 Leonberg, DE
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 198 59 281 A1

54 Temperaturüberwachungsschaltung für pulswidenmoduliert betriebene, geregelte induktive Verbraucher

57 Es wird eine Temperaturmeß- und/oder -überwachungseinrichtung für pulswidenmoduliert betriebene induktive Verbraucher (11) vorgeschlagen. Hierzu wird ein analoges, einen pulswidenmoduliert betriebenen induktiven Verbraucher simulierendes Schaltungsmodell (13, 14) mit pulswidenmodulierten Steuersignalen (PWM) beaufschlagt, die ein dem der Betriebsspannung für den realen induktiven Verbraucher (11) entsprechendes Tastverhältnis besitzen. Dabei wird der induktive Verbraucher im Schaltungsmodell (13, 14) durch eine entsprechende Ersatzschaltung (14) gebildet, die eine stromproportionale und temperaturabhängige Meßspannung (U_x) erzeugt. Eine Differenzbildungs- oder Komparatoranordnung (31) dient zum Vergleich der Meßspannung (U_x) mit wenigstens einer vom Strom (I_s) durch den realen induktiven Verbraucher (11) abhängigen Spannung (U_r , $-U_r$), deren Ausgangssignal die Information über die Temperatur des realen induktiven Verbrauchers (11) enthält. Hierdurch ist eine sensorlose Temperaturmessung und -überwachung in einem pulswidenmoduliert betriebenen induktiven Verbraucher bei einfacher und kostengünstiger Schaltungselektronik möglich.



DE 100 57 375 C 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Temperaturüberwachungsschaltung für pulsweitenmoduliert betriebene, geregelte induktive Verbraucher, beispielsweise Magnetspulen, Elektromotoren, Transformatoren, Linearmotoren oder dergleichen, die anhand eines Modells arbeitet.

[0002] Vor allem in der Regelungstechnik ist die Verlustleistung bzw. die mit der Verlustleistung zusammenhängende Temperaturerhöhung im induktiven Verbraucher ein häufiges Problem. Dieses Problem tritt besonders stark in Verbindung mit Leistungstreibern, wie Magnetspulentreibern für pneumatische oder hydraulische Aktoren, auf. Um dieses Problem zu lösen, werden derartige induktive Verbraucher, also beispielsweise Magnetspulen, meistens mit Pulsweitenmodulation (PWM) betrieben. Es treten jedoch immer wieder Situationen auf, insbesondere bei Magnetventilen, bei denen dennoch gefährlich hohe Temperaturen auftreten können. Um daher Schaden zu vermeiden, muß die Temperatur im Betrieb ständig kontrolliert werden. Sind die zu überwachenden Verbraucher auch noch in mechanischer Bewegung, ist die Erfassung und Übertragung der Temperaturwerte gewöhnlich kompliziert.

[0003] Zur Messung von Temperaturen sind Bimetallelemente und Temperatursensoren bekannt. Bimetallelemente sind gewöhnlich groß und daher schwierig zu platzieren, wobei auch die thermische Kopplung problematisch ist. Auch bei Temperatursensoren ist die korrekte Platzierung schwierig, wobei in beiden Fällen insbesondere bei sich bewegenden Teilen die Anschlüsse und die Signalübertragung problematisch sind.

[0004] Da bei strombetriebenen induktiven Verbrauchern, z. B. Magnetspulen, diese durch Verlustleistung die Wärmequelle selbst bilden, kann die Temperatur prinzipiell durch Messung des Widerstandes des induktiven Verbrauchers ermittelt werden. Bei gleichstrombetriebenen induktiven Verbrauchern, beispielsweise gleichstrombetriebenen Magnetspulen, ist dies relativ unproblematisch. Wird jedoch der induktive Verbraucher pulsweitenmoduliert betrieben, so wird dieses Temperaturmeßverfahren kompliziert und braucht eine entsprechend sehr aufwendige elektronische Auswertelektronik.

[0005] Aus der DE 198 59 281 A1 ist eine anhand eines Modells arbeitende Temperaturüberwachungsschaltung für induktive Verbraucher mit pulsweitenmoduliertem Spulenstrom bekannt. Bei einem Ventil als Verbraucher wird das Tastverhältnis der Ventilansteuerung erfasst und aus der Versorgungsspannung und dem Tastverhältnis sowie dem Ventilstrom der Ventilwiderstand ermittelt. Aus der Temperaturabhängigkeit des Spulenmaterials wird anschließend die Spulentemperatur gewonnen und an ein Temperaturmodell weitergegeben, das eine Kompensation der Temperaturabhängigkeit des Spulenwiderstands vornimmt und eine Temperaturüberwachung ermöglicht. Insbesondere bei hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Kompensation ist ein relativ hoher Schaltungsaufwand bei entsprechenden Kosten erforderlich.

[0006] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Temperaturüberwachungsschaltung für pulsweitenmoduliert betriebene, geregelte induktive Verbraucher zu schaffen, die keine zusätzlichen Sensorelemente benötigt und einen geringen Schaltungsaufwand aufweist.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Temperaturüberwachungsschaltung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0008] Die Vorteile der erfindungsgemäßen Einrichtung bestehen insbesondere darin, daß die Temperatur im induktiven Verbraucher durch sehr einfache elektronische Mittel

exakt erfaßt werden kann. Auf zusätzliche Sensorelemente oder dergleichen kann vollständig verzichtet werden. Bewegungen am oder des induktiven Verbrauchers sind unproblematisch und stellen kein Problem für die Temperaturerfassung dar. Das simulierende Schaltungsmodell und damit die erforderlichen elektronischen Mittel für die Temperaturerfassung sind integrationsfähig. Die Messung erfolgt direkt an der Wärmequelle. Die erfindungsgemäße Einrichtung nützt das Pulsweitenmodulationsverfahren zur Messung aus, ohne den jeweiligen Regelvorgang zu stören.

[0009] Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der im Anspruch 1 angegebenen Schaltung möglich.

[0010] Bei einer bevorzugten Ausführung sind in der induktivitätslosen Ersatzschaltung ein Widerstand und ein Kondensator enthalten, wobei die Meßspannung die Kondensatorspannung ist oder von dieser abhängt. Eine derartige Ersatzschaltung, insbesondere in Kombination mit einem Operationsverstärker, ist leicht integrierbar.

[0011] Zur Bildung der vom Strom durch den realen induktiven Verbraucher abhängigen Spannung dient zweckmäßigerweise ein Strom-Spannungs-Wandler. Weiterhin ist in einer bevorzugten Ausführung eine Verstärkeranordnung zur Bildung einer positiven und negativen Referenzspannung aus der vom Strom durch den realen induktiven Verbraucher abhängigen Spannung vorgesehen, wobei die Referenzspannungen an der Komparatoranordnung anliegen.

[0012] Das analoge Schaltungsmodell besitzt einen Spannungsgenerator zur Bildung einer pulsweitenmodulierten Spannung mit gleichem Tastverhältnis wie die Steuersignale. Diesem Spannungsgenerator ist in vorteilhafter Weise ein Spannungs-Strom-Wandler nachgeschaltet, mit dessen Strom die den Kondensator aufweisende Ersatzschaltung beaufschlagt ist.

[0013] In einer bevorzugten schaltungsmaßbigen Ausgestaltung besitzt die Ersatzschaltung einen rückgekoppelten Operationsverstärker, wobei der Rückkopplungsweig aus der Parallelschaltung des Kondensators mit einem Widerstand besteht. Dadurch wird durch den zufließenden Strom aus dem Spannungs-Strom-Wandler unmittelbar die stromproportionale und temperaturabhängige Meßspannung am Kondensator gebildet.

[0014] In einer bevorzugten Ausführung ist ein Schalterpunkt der schaltenden Komparatoranordnung so eingestellt, daß ein Ausgangssignal der Komparatoranordnung bei Erreichen einer höchstzulässigen Temperatur im induktiven Verbraucher gebildet wird. Dieses Ausgangssignal kann dann zweckmäßigerweise als Auslöse- oder Steuersignal für eine Strombegrenzungseinrichtung für den realen induktiven Verbraucher und/oder für eine Alarmanrichtung ausgebildet sein.

[0015] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung bildet die Spannungsdifferenz am Ausgang der als Differenzglied ausgebildeten Komparatoranordnung direkt das Temperaturmeßsignal für die Temperatur im induktiven Verbraucher.

[0016] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0017] Fig. 1 ein Schaltbild einer Temperaturüberwachungsschaltung als erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung,

[0018] Fig. 2 ein prinzipielles Ersatzschaltbild eines pulsweitenmodulierten Spulentreibers,

[0019] Fig. 3 ein nach dem Dualitätsprinzip der Elektrotechnik umgewandeltes Ersatzschaltbild und

[0020] Fig. 4 eine schematische Blockdarstellung einer Temperaturüberwachungsschaltung als weiteres Ausführungsbeispiel.

rungsbeispiel der Erfindung.

[0021] Gemäß dem in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel wird im Schaltungssteil 10 eine Magnetspule 11 (L) mittels eines Spulentreibers 12 durch einen pulsweitenmodulierten Spulenstrom J_s geregelt. Der Sollstrom wird dabei über eine angelegte Sollspannung U_{soll} vorgegeben. Selbstverständlich können entsprechend auch andere induktive Verbraucher durch einen entsprechenden Spulentreiber geregelt oder auch lediglich gesteuert werden.

[0022] Die Schaltungsteile 13 und 14 stellen zusammen ein einen pulsweitenmoduliert betriebenen induktiven Verbraucher simulierendes Schaltungsmodell dar. Dabei dient das Schaltungsteil 13 zur Erzeugung einer pulsweitenmodulierten Spannung U_g , deren Amplitude proportional zu einer Versorgungsspannung U_b ist und deren Tastverhältnis dem des pulsweitenmodulierten Stroms J_s entspricht. Hierzu wird ein elektronischer Umschalter 15 im Schaltungsteil 13 mit pulsweitenmodulierten Steuersignalen PWM vom Spulentreiber 12 aus getriggert, wobei diese pulsweitenmodulierten Steuersignale PWM ein Tastverhältnis besitzen, das dem des pulsweitenmodulierten Stroms J_s entspricht. Der elektronische Umschalter 15 steuert alternierend zwei elektronische Schalter 16, 17 in einem Längszweig einer Brückenschaltung 18, in dessen anderem Längszweig zwei identische Widerstände 19, 20 geschaltet sind. An die Brückenschaltung 18 ist die Versorgungsspannung U_b angelegt. Der Abgriff des ersten Brückenbezugs ist über einen Widerstand 21 mit dem invertierenden Eingang eines Differenzverstärkers verbunden, der in an sich bekannter Weise aus einem Operationsverstärker 22 und zwei Widerständen 23, 24 besteht. Der Abgriff des zweiten Brückenbezugs ist über eine Verstärkerstufe 25 und einen nachgeschalteten Widerstand 26 mit dem nicht-invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 22 verbunden.

[0023] Das Schaltungsteil 14 stellt eine Ersatzschaltung für einen induktiven Verbraucher dar. Dabei wird die Eingangsspannung U_g zunächst mittels eines Widerstands 27 in einen proportionalen Strom J_g umgewandelt. Dieser Strom wird dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers 28 zugeführt, der über die Parallelschaltung eines Kondensators 29 mit einem Widerstand 30 (R_x) rückgekoppelt ist. Der nicht-invertierende Eingang ist mit einer festen Spannung von z. B. 5 Volt beaufschlagt. Ein dem proportionalen Strom J_g entsprechender gleicher Strom fließt auch durch das aus dem Kondensator 29 und dem Widerstand 30 bestehenden RC-Glied und erzeugt eine Meßspannung U_x am Ausgang des Operationsverstärkers 28.

[0024] Ein Schaltungsteil 31 ist als Komparatoranordnung ausgebildet. Der als Stromregler wirkende Spulentreiber 12 im Schaltungsteil 10 erzeugt ausgangsseitig eine Spannung U_{J_s} , die proportional dem Strom J_s ist. Diese stromproportionale Spannung U_{J_s} wird über einen Widerstand 32 einem über einen weiteren Widerstand 33 rückgekoppelten Operationsverstärker 34 zugeführt, der die Spannung U_{J_s} verstärkt und dann direkt als Referenzspannung U_r einem ersten Komparator 35 sowie über einen Inverter 26 als invertierte Referenzspannung $-U_r$ einem zweiten Komparator 37 zugeführt. Dabei liegt die Referenzspannung U_r am invertierenden Eingang des ersten Komparators 35 und die invertierte Referenzspannung $-U_r$ am nicht-invertierenden Eingang des zweiten Komparators 37 an. Die Ausgänge der beiden Komparatoren 35, 37 sind einem NOR-Glied 38 zugeführt, das ein Ausgangssignal erzeugt, wenn die Spulentemperatur in der Magnetspule 11 einen vorgegebenen Maximalwert überschreitet. Dieses Signal kann somit als Einschaltsignal für eine Strombegrenzung des Stromes J_s oder als Alarmsignal verwendet werden.

[0025] Die Wirkungsweise der beschriebenen Schaltung

besteht darin, daß der Spulenwiderstand der Magnetspule 11 und dadurch deren Spulentemperatur durch Verwendung eines analogen Schaltungsmodells gemessen wird, in dem man die notwendigen Parameter einfach messen kann. Dieses analoge Schaltungsmodell ist beim Ausführungsbeispiel durch die beiden Schaltungsteile 13, 14 realisiert. Dabei dient das Schaltungsteil 13 zur Erzeugung einer pulsweitenmodulierten Spannung U_g mit entsprechendem Tastverhältnis, und das Schaltungsteil 14 stellt ein Ersatzschaltbild bzw. eine Ersatzschaltung eines induktiven Verbrauchers dar, die durch Umwandlung nach dem Dualitätsprinzip der Elektrotechnik gebildet wurde. Dies wird im folgenden anhand der Fig. 2 und 3 erläutert.

[0026] Die Abb. 2 stellt das Ersatzschaltbild der pulsweitenmoduliert betriebenen Magnetspule 11 dar. Die Magnetspule 11 enthält einen induktiven Anteil L_s und einen Ohmschen Anteil R_s . Nach dem Dualitätsprinzip der Elektrotechnik kann man dieses Ersatzschaltbild gemäß Abb. 2 in ein Ersatzschaltbild gemäß Abb. 3 umwandeln. Dabei ist die Induktivität L_s in eine Kapazität C_x , die Spannungsquelle U_g in eine Stromquelle J_g und die Serienschaltung in eine Parallelschaltung umgewandelt. Dem durch die Spule L_s fließenden Strom J_s entspricht die Spannung U_x am Kondensator C_x . Der Durchschnittswert des Spulenstroms durch die Spule L_s beträgt im stationären Zustand:

$$J_s = U_g / R_s \cdot (2d - 1),$$

und der Durchschnittswert der Spannung am Kondensator C_x beträgt im stationären Zustand:

$$U_x = J_g \cdot R_x \cdot (2d - 1).$$

[0027] Dabei ist d das Tastverhältnis des pulsweitenmodulierten Signals, das sich aus einem positiven Anteil und einem negativen Anteil jeweils zusammensetzt. Der Strom J_g ist proportional zum Spulenstrom J_s und dem Spulenwiderstand R_s . Da das Schaltungsteil 14 de facto ein Ersatzschaltbild für die reale Magnetspule darstellt, ist die Meßspannung U_x proportional zum Spulenstrom und zur Temperatur bzw. Temperaturerhöhung in der realen Magnetspule 11:

$$U_x = c \cdot J_s \cdot R_x \cdot R_{so} (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

[0028] Dabei ist R_{so} der Spulenwiderstand bei einer Referenztemperatur, c eine Konstante, α der materialabhängige Temperaturkoeffizient und Δt die Differenz bezüglich der Referenztemperatur.

[0029] Die Referenzspannung U_r bzw. $-U_r$ ist proportional zum Spulenstrom bei einer Referenztemperatur

$$U_r = c \cdot J_s \cdot R_x \cdot R_{so} (1 + \beta)$$

[0030] Dabei kann das Produkt $c \cdot J_s \cdot R_x \cdot R_{so}$ zu K zusammengefaßt werden, so daß die Zusammenhänge $U_x = K \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$ und $U_r = K \cdot (1 + \beta)$ formuliert werden können.

[0031] Durch entsprechende Einstellung der Verstärker ($\alpha \cdot \Delta t = \beta$) kann somit erreicht werden, daß die Komparatoranordnung 31 ein Ausgangsschaltssignal erzeugt, wenn eine festgelegte maximale Spulentemperatur erreicht oder überschritten ist ($U_x > U_r$ oder $U_x > -U_r$).

[0032] Will man kein Schaltsignal bei Erreichen einer höchstzulässigen Spulentemperatur, beispielsweise zur Einschaltung einer Strombegrenzungseinrichtung oder Alarmeinrichtung, sondern eine Auswertung der Spannungsdifferenz U_x , $-U_r$ als Analogwert für die Spulentemperatur, so wird anstelle eines schaltenden Komparators beispielsweise ein Differenzverstärker oder eine Differenzbildungsstufe

vorgesehen. Bei dem in Fig. 4 dargestellten weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung sind Funktionsblöcke, die gegenüber Funktionsblöcken des ersten Ausführungsbeispiels im wesentlichen gleiche Funktionen beinhalten, mit denselben Bezugszeichen versehen. Die allgemeinere Blockdarstellung gemäß Fig. 4 soll die prinzipiellen Funktionen und Wirkungsweise der Erfindung herausstellen, unabhängig von der jeweiligen Realisation. So könnte zum Beispiel das in Fig. 4 dargestellte zweite Ausführungsbeispiel als programmgesteuerter Rechner bzw. Prozessor ausgebildet sein, das heißt, die Magnetspule 11 ist mit einem solchen Rechner verbunden, in dem die einzelnen Funktionsblöcke durch Programme realisiert sind.

[0033] In der Magnetspule 11, deren Wicklungen üblicherweise aus Kupfer bestehen, ändert sich der Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur. Zum Zweck der verlustarmen Stromregelung wird die Magnetspule 11 mittels eines Spulentreibers 12, der als pulsweitenmodulierter Regler ausgebildet ist, mit einer pulsweitenmodulierten Spannung (PWM) beaufschlagt bzw. durch einen pulsweitenmodulierten Spulenstrom geregelt. Die Pulsbreite ändert sich bei konstantem Spulenstrom mit dem Spulenwiderstand, also auch mit der Spulentemperatur.

[0034] Gleichzeitig wird ein einen pulsweitenmoduliert betriebenen induktiven Verbraucher simulierendes Schaltungsmodell 40, das eine R-C-Kombination beinhaltet und das beim ersten Ausführungsbeispiel durch die Schaltungsteile 13 und 14 realisiert ist, an derselben pulsweitenmodulierten Quelle, also am Spulentreiber 12, betrieben, wobei dieses Schaltungsmodell eine Ausgangsspannung U_x erzeugt, die einen festen Zusammenhang zu der Spulentemperatur hat. Die R-C-Kombination des Schaltungsmodells 40 ist so dimensioniert, daß der Spannungsabfall über der R-C-Kombination sich genauso wie der Strom durch die Magnetspule 11 verhält. Die R-C-Kombination des Schaltungsmodells 40 als Nachbildung der pulsweitenmoduliert betriebenen Magnetspule 11 weist im Gegensatz zur Magnetspule 11 keinen entsprechenden Temperaturgang auf.

[0035] Da der Spulenstrom durch die Regelung konstant bleibt, sich aber das Puls-Pausen-Verhältnis des PWM-Signals in Abhängigkeit des Spulenwiderstands und damit der Spulentemperatur ändert, ist der Spannungsabfall über der R-C-Kombination im Schaltungsmodell 40 ein Maß für die Spulentemperatur.

[0036] Im Referenzbildungsblock 41 wird eine vom Spulenstrom I_s abhängige Referenzspannung U_r gebildet. Um eine Spannung zu erhalten, die nur der Spulentemperatur entspricht, wird von der Spannung U_x , die über der R-C-Kombination im Schaltungsmodell 40 abfällt, die Referenzspannung U_r im Differenzbildungsblock 42 abgezogen. Die Differenz $U_{\Delta t}$ ist ein Maß für die Spulentemperatur, da die Referenzspannung, gebildet aus dem konstanten Strom, der Spulentemperatur von beispielsweise 20° entspricht.

[0037] Gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel kann der Differenzbildungsblock 42 auch als Komparator zur Über-temperaturabschaltung realisiert werden.

Patentansprüche

1. Temperaturüberwachungsschaltung für pulsweitenmoduliert betriebene, geregelte induktive Verbraucher, die anhand eines Modells arbeitet, **gekennzeichnet durch** einen stromregelnden Spulentreiber (12), ein analoges, den Verbraucher (11) simulierendes Schaltungsmodell (13, 14; 40), das mit Steuersignalen (PWM) beaufschlagt ist, die das am Verbraucher (11) anliegende Tastverhältnis aufweisen, wobei der Ver-

braucher im Schaltungsmodell (13, 14; 40) durch eine Ersatzschaltung (14) gebildet ist, die eine stromproportionale, von der Temperatur des realen Verbrauchers nicht abhängige Spannung (U_x) erzeugt, und eine Differenz- oder Komparatoranordnung (31; 42), zum Vergleich der Spannung (U_x) mit einer vom Strom (I_s) durch den realen Verbraucher (11) abhängigen Spannung (U_r , $-U_r$) und zur Bildung des zu überwachenden Temperaturwerts.

2. Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der induktivitätslosen Ersatzschaltung (14; 40) ein Kondensator (29) und ein Widerstand (30) enthalten sind, wobei die Meßspannung (U_x) die Kondensatorspannung ist oder von dieser abhängt.

3. Schaltung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Strom-Spannungs-Wandler (41) zur Bildung der vom Strom (I_s) durch den realen induktiven Verbraucher (11) abhängigen Spannung (U_{js} bzw. U_r , $-U_r$) vorgesehen ist.

4. Schaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Verstärkeranordnung (32-34, 36) zur Bildung einer positiven (U_r) und negativen Referenzspannung ($-U_r$) aus der vom Strom (I_s) durch den realen induktiven Verbraucher (11) abhängigen Spannung (U_{js}) vorgesehen ist, wobei die Referenzspannungen (U_r , $-U_r$) an der Komparatoranordnung (35, 37) angelegt sind.

5. Schaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das analoge Schaltungsmodell (13, 14) einen Spannungsgenerator (13) zur Bildung einer pulsweitenmodulierten Spannung mit gleichem Tastverhältnis wie die Steuersignale (PWM) besitzt.

6. Schaltung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß dem Spannungsgenerator (13) ein Spannungs-Strom-Wandler (27) nachgeschaltet ist, mit dessen Strom die den Kondensator (29) aufweisende Ersatzschaltung (14) beaufschlagt ist.

7. Schaltung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ersatzschaltung (14) einen rückgekoppelten Operationsverstärker (28) besitzt, wobei der Rückkopplungsweig aus der Parallelschaltung des Kondensators (29) mit einem Widerstand (30) besteht.

8. Schaltung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Schaltungspunkt der schaltenden Komparatoranordnung (31) so eingestellt ist, daß ein Ausgangssignal der Komparatoranordnung (31) bei Erreichen einer höchstzulässigen Temperatur im induktiven Verbraucher (11) gebildet wird.

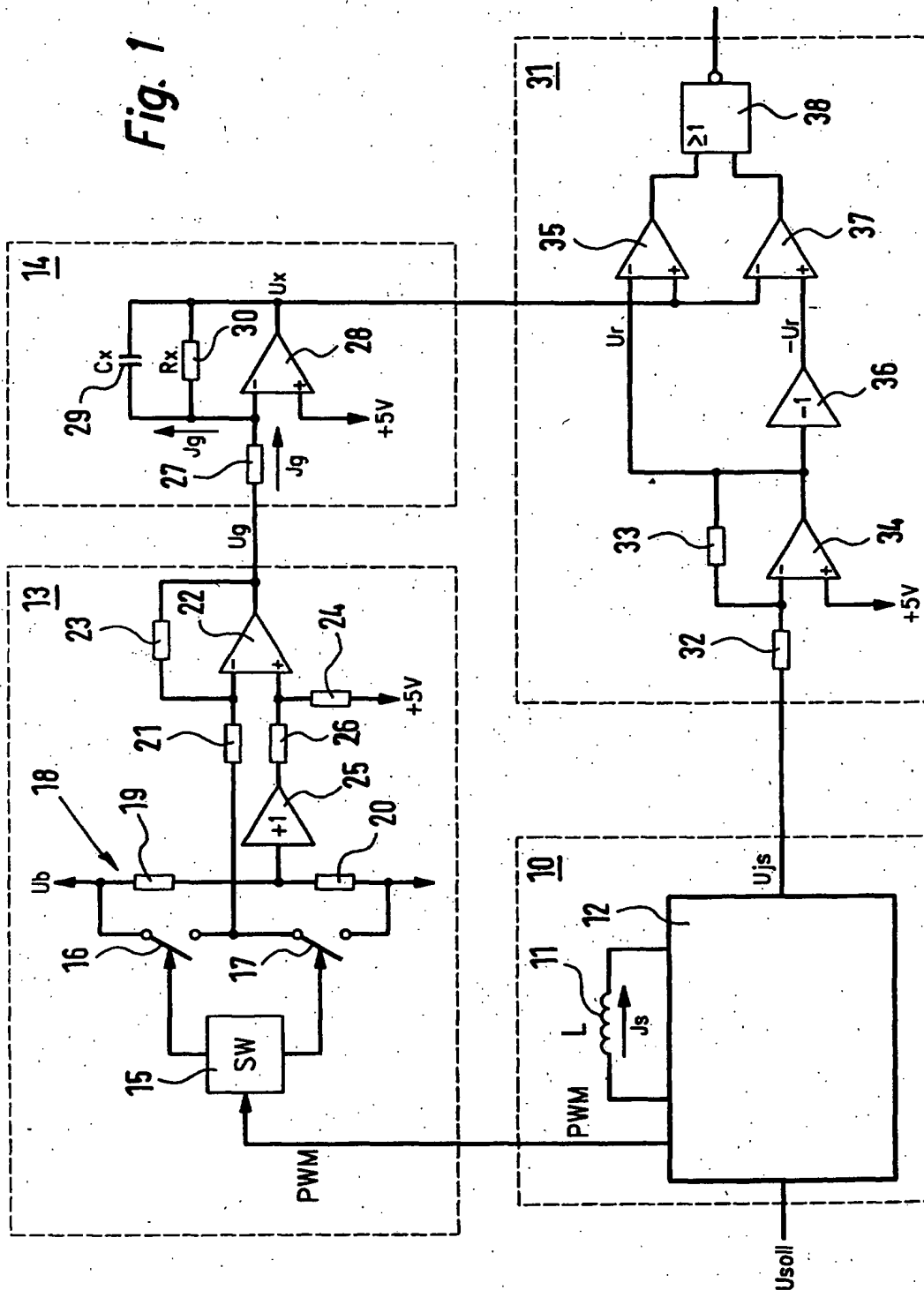
9. Schaltung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal der Komparatoranordnung (31) als Auslöse- oder Steuersignal für eine Strombegrenzungseinrichtung für den realen induktiven Verbraucher (11) und/oder für eine Alarmaneinrichtung ausgebildet ist.

10. Schaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungsdifferenz ($U_{\Delta t}$) am Ausgang der als Differenzbildungsanordnung (42) ausgebildeten Komparatoranordnung das Temperaturmeßsignal für die Temperatur im induktiven Verbraucher (11) bildet.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1



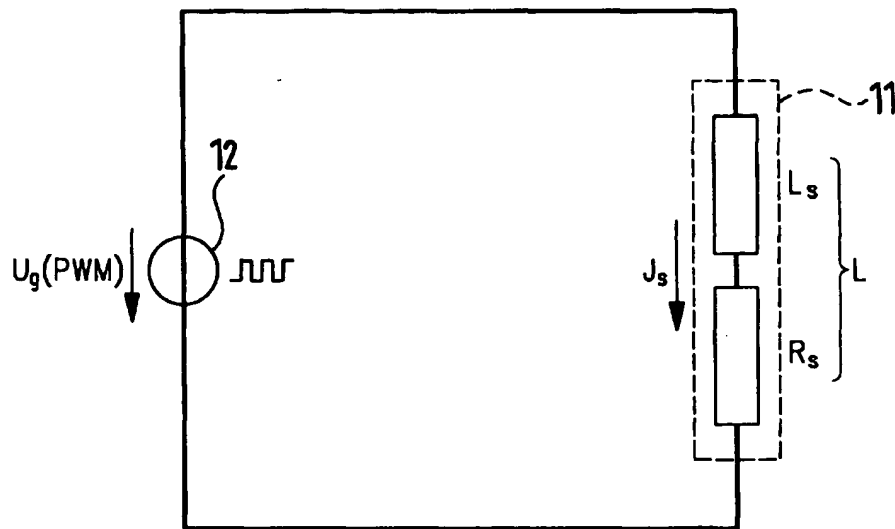


Fig. 2

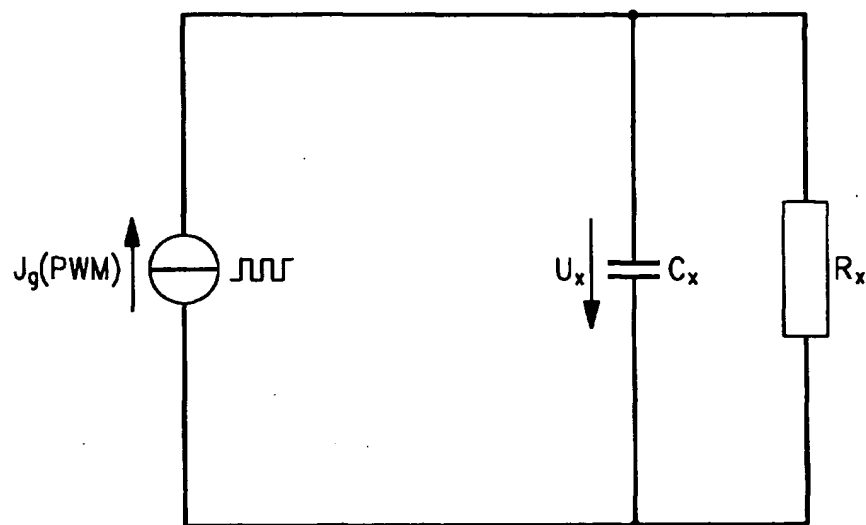


Fig. 3

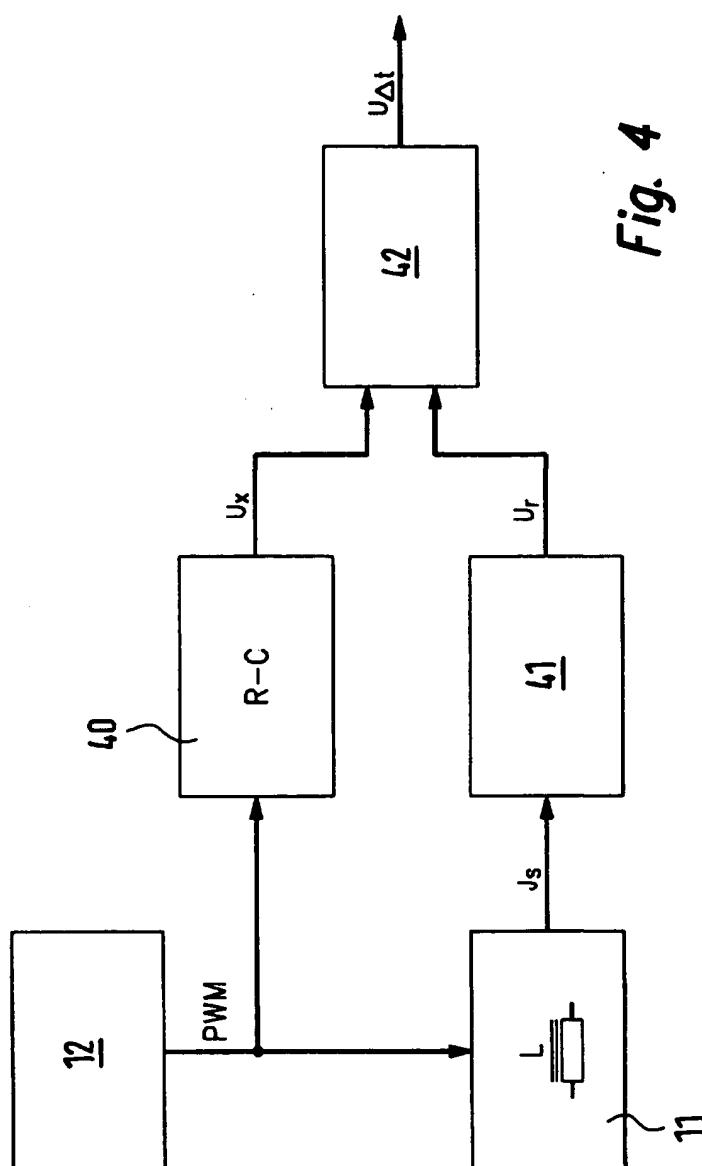


Fig. 4